

Bifurcations turbulentes et transitions de une à deux cellules dans l'écoulement de von Karman asymétrique

Ont contribué à ces travaux:

Romain Monchaux
Pierre-Philippe Cortet
Mathilde Colmet-Daâge
Adrien Escoffier
Mattéo Smerlak
Sébastien Aumaître
Bérengère Dubrulle
Louis Marié
Cécile Gasquet
et l'équipe VKS

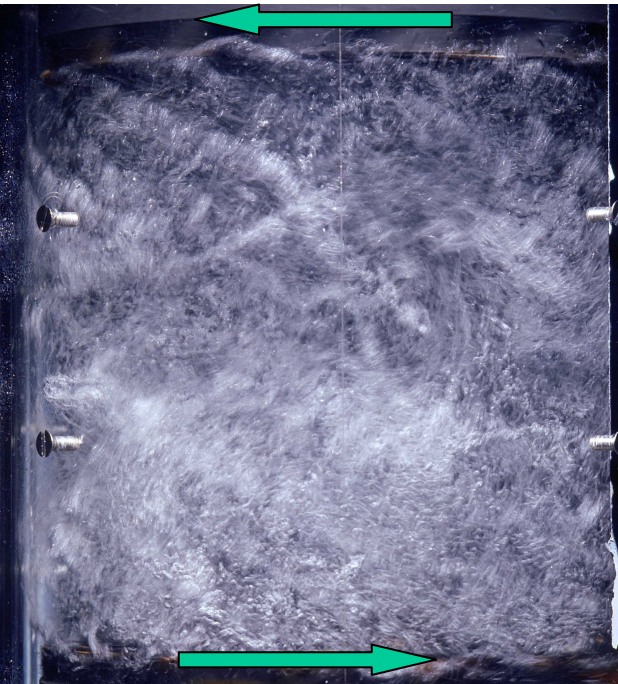
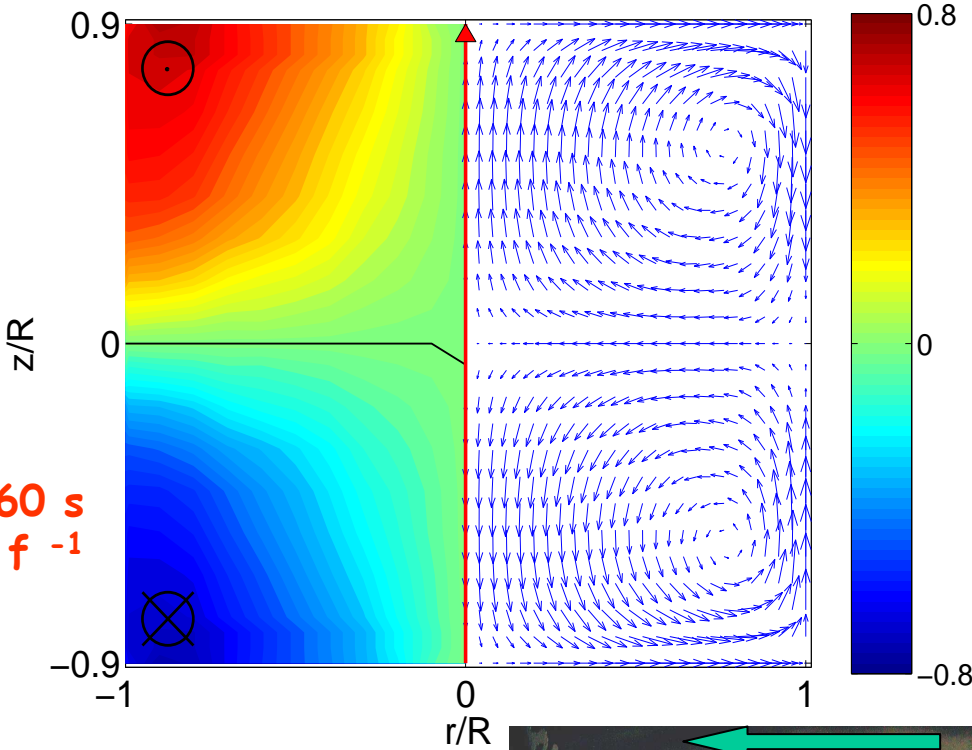
Arnaud Chiffaudel,
Florent Ravelet,
& François Daviaud

Groupe Instabilités et Turbulence
Service de Physique de l'Etat Condensé
Direction des Sciences de la Matière
CEA Saclay - CNRS URA 2464

Les **trois** échelles de l'écoulement de von Kármán contrarotatif turbulent

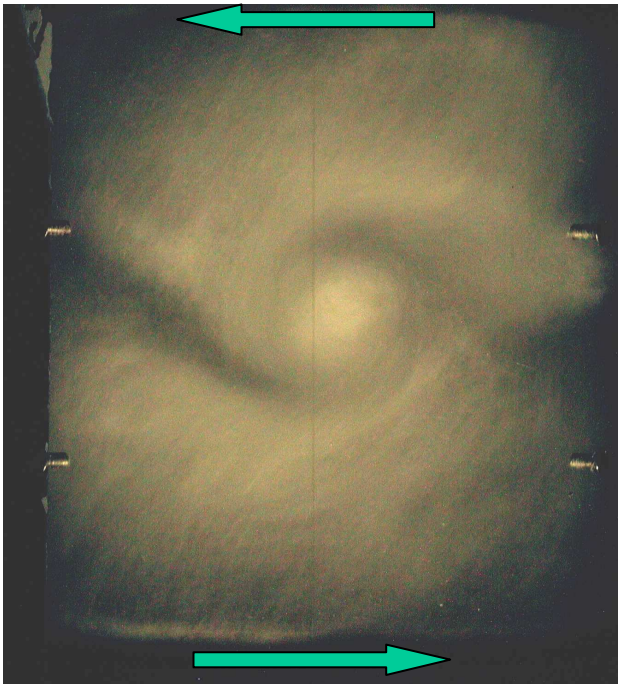
Temps de moyennage : 60 s
 $500 f^{-1}$

$$Re \simeq 10^6$$



Temps de moyennage : 1/20 s
 $1/2 f^{-1}$

Temps de moyennage : 1/500 s
 $1/50 f^{-1}$

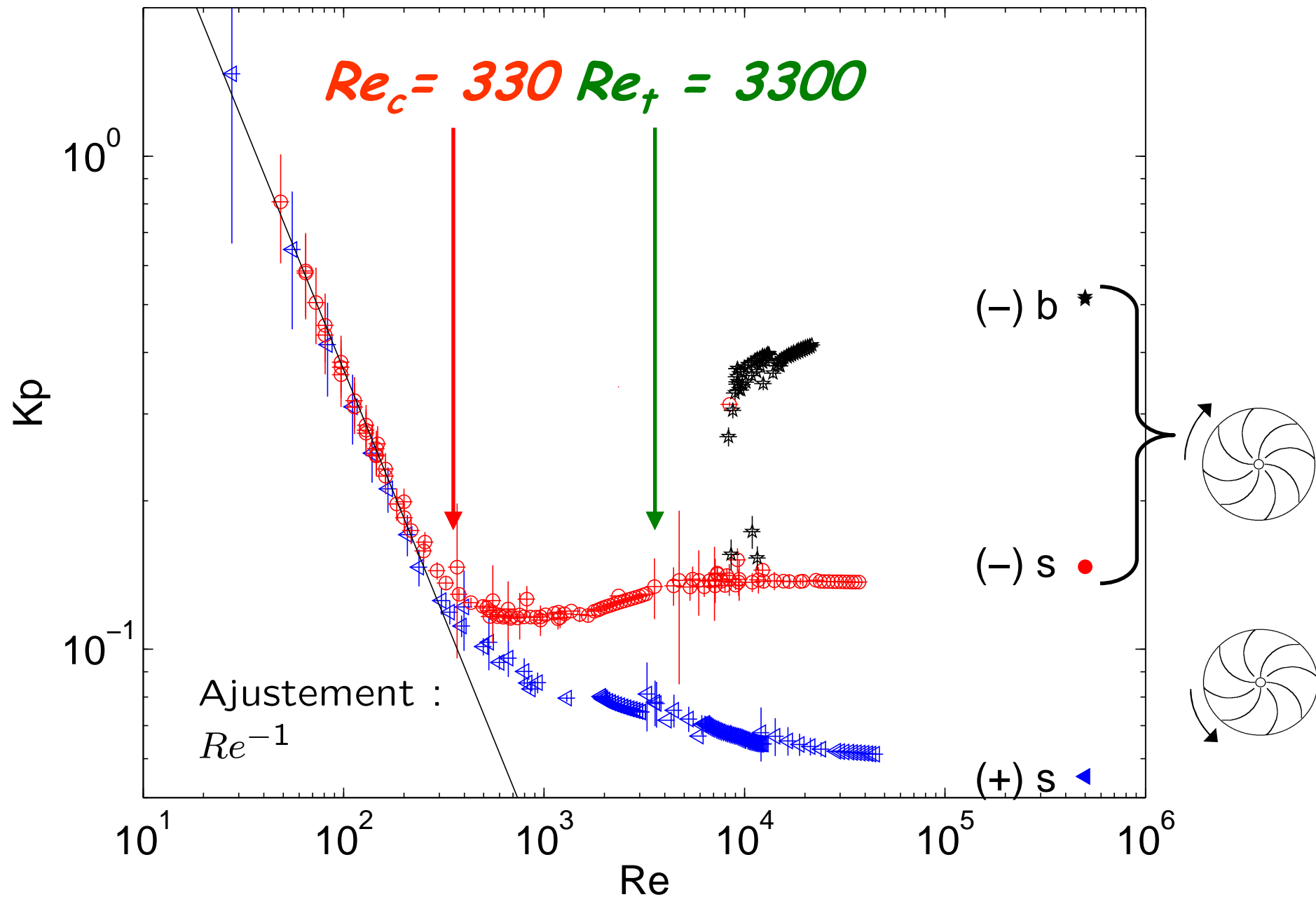


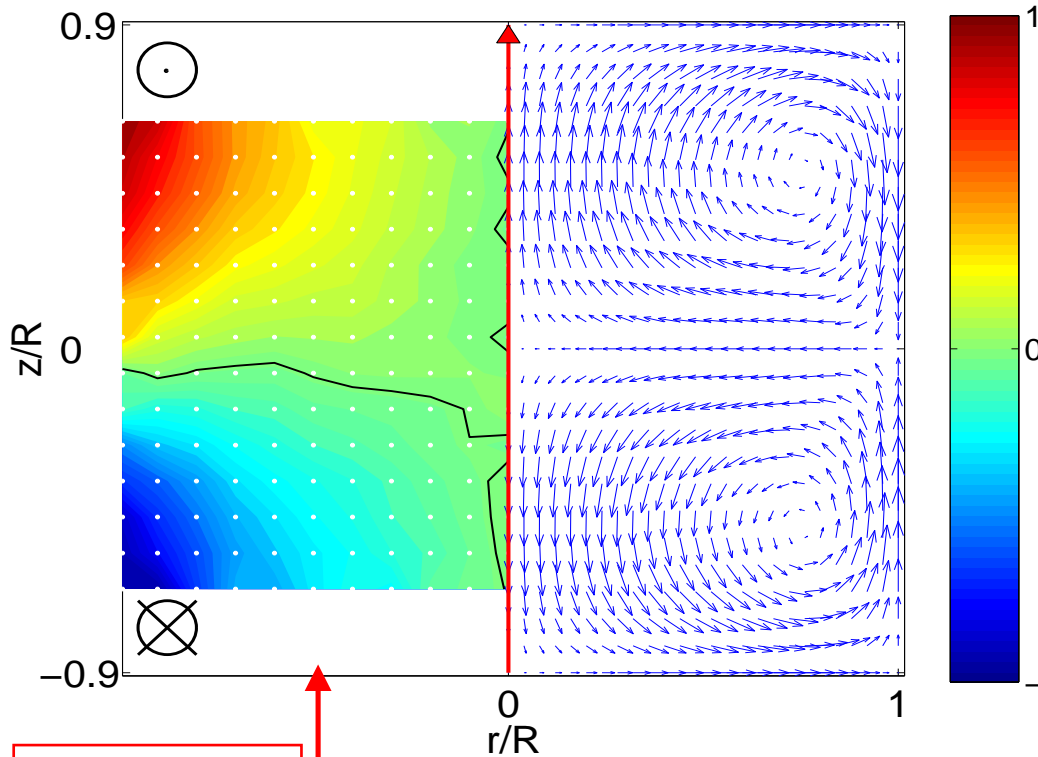
- 1 -

Bifurcation turbulente sous-critique et multistabilité

L'exemple d'un cisaillement maximisé :
changement de topologie et brisure de la
symétrie $SO(2)$ concomitants avec un forçage
quasi-symétrique.

Multiplicité des solutions



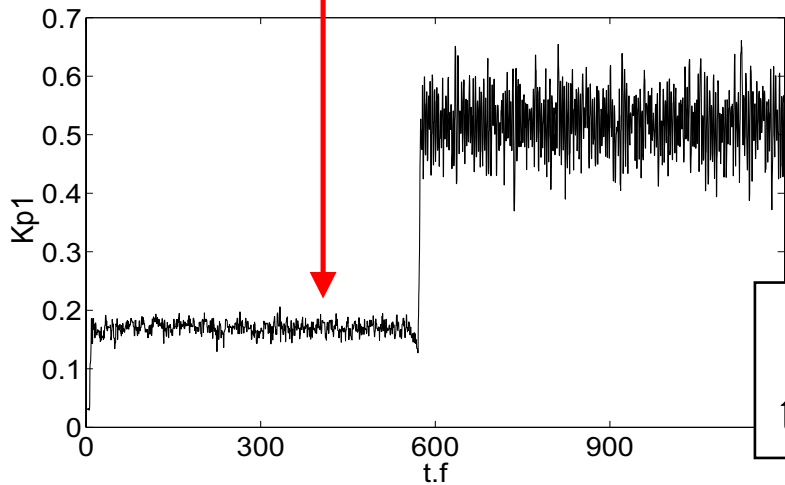


Turbulent Bifurcation of the von Kármán flow : two different mean flows exchange stability. A symmetry is broken

Bifurcated flow (b) : no more shear layer broken symmetry

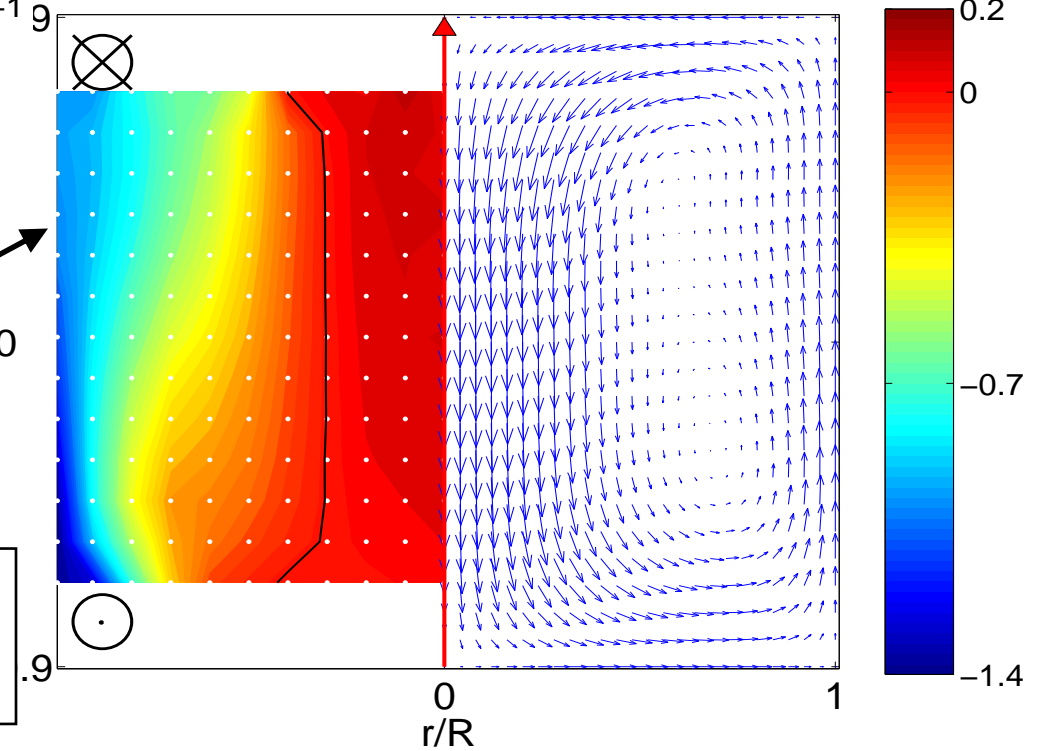
two cells
one state

(s)

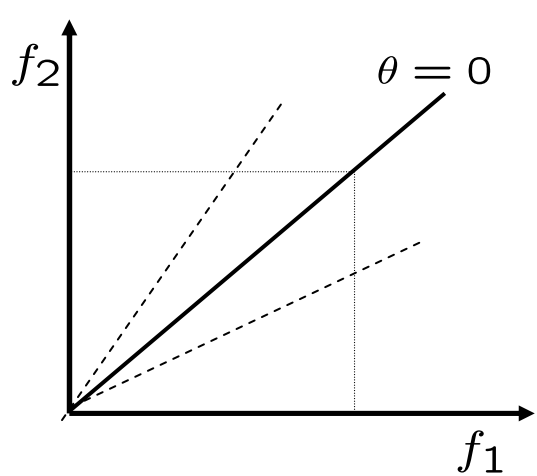


one cell
two states

(b₂)



Paramètres de contrôle avec moteurs indépendants



$$\left\{ \begin{array}{l} f = \sqrt{\left(\frac{f_1^2 + f_2^2}{2}\right)} \quad \text{Intensité du forçage} \\ \theta = \frac{f_2 - f_1}{f_1 + f_2} \quad \text{Dissymétrie du forçage} \\ Re = \frac{2\pi R_c^2 f}{\nu} \quad \text{Nombre de Reynolds intégral} \end{array} \right.$$

$\theta = 0$: contra-rotation

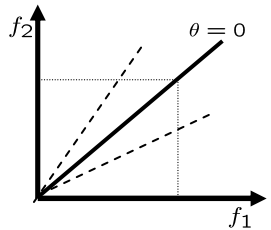
$\theta = \pm 1$: un seul disque

$$\left\{ \begin{array}{l} V = \frac{\text{Vitesse}}{2\pi R_c f} \\ Kp = \frac{\text{Couple}}{\rho R_c^5 (2\pi f)^2} \end{array} \right.$$

Mesure de **vitesse** par Velocimétrie Laser Doppler

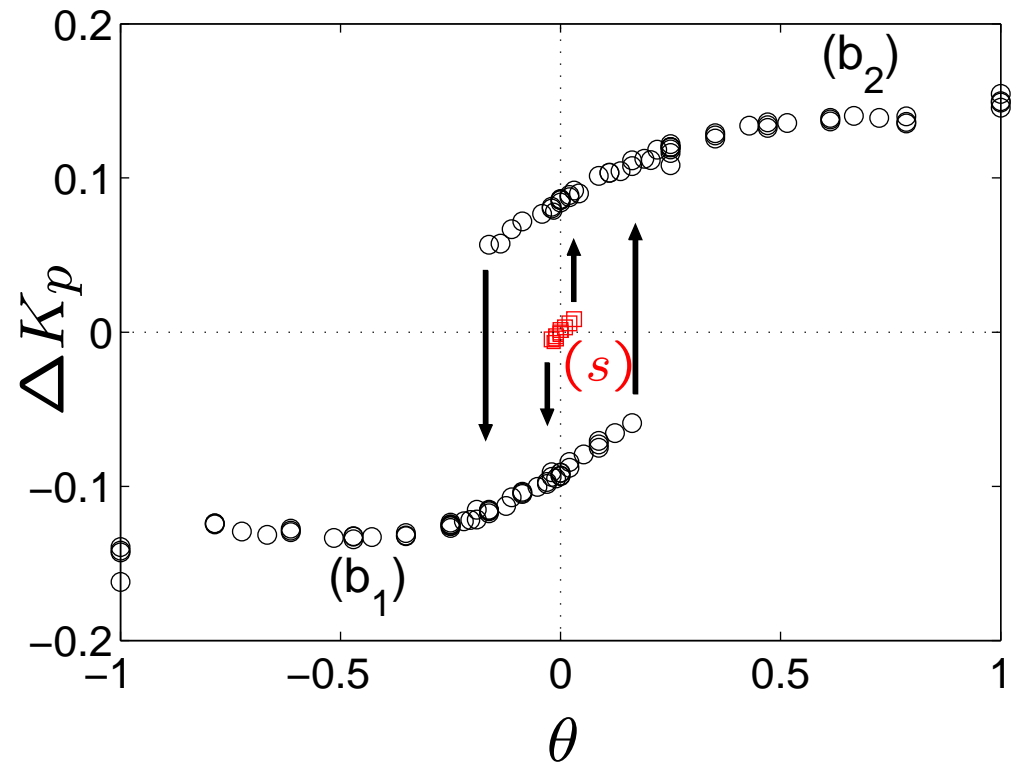
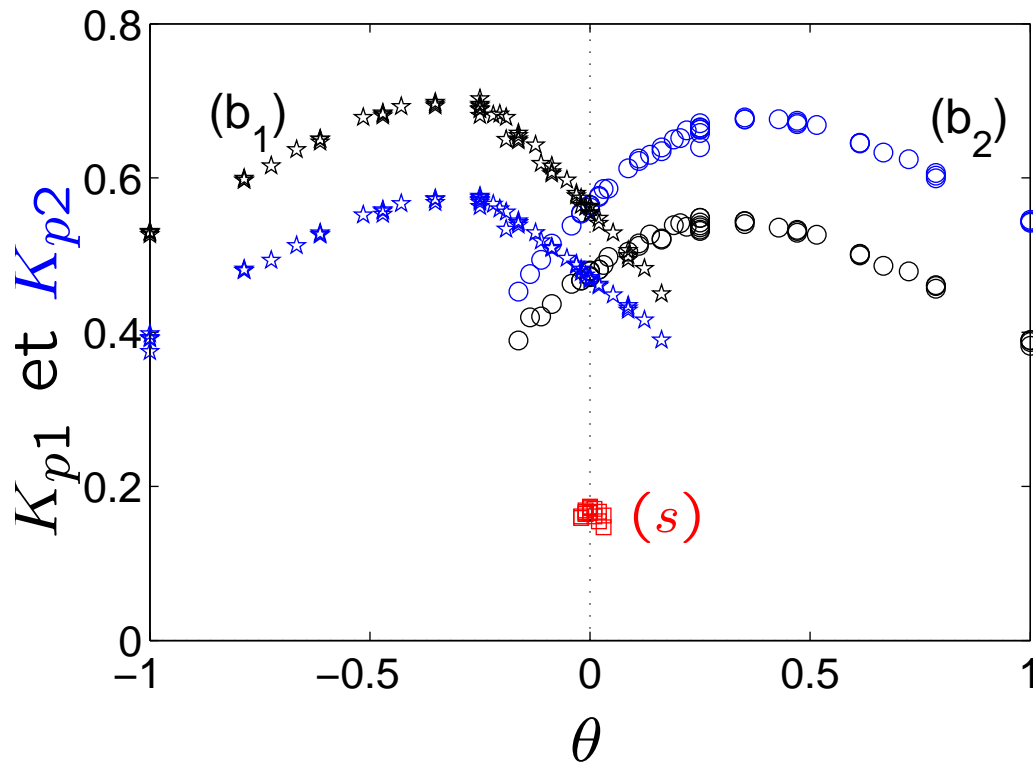
Couple adimensionnel (équivalent à un «Cx») mesuré comme une image du courant fourni aux moteurs.

Bifurcation turbulente, multistabilité, « effet mémoire »



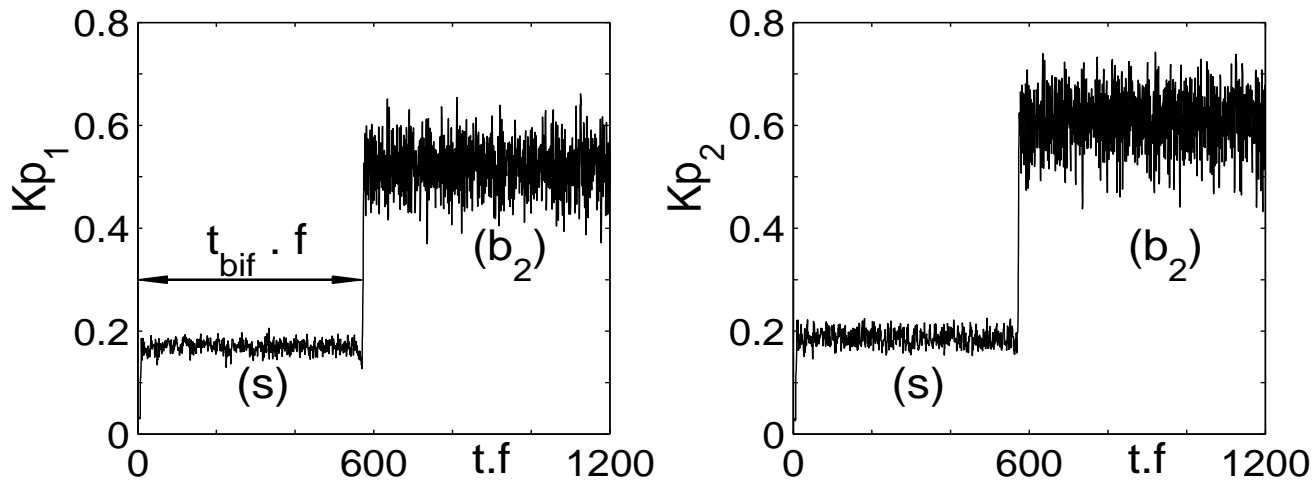
cycles de $\theta = -1$ à $\theta = 1$ et retour
 $\Delta K_p = K_{p2} - K_{p1}$ comme paramètre d'ordre

$$Re = 3 \cdot 10^5$$

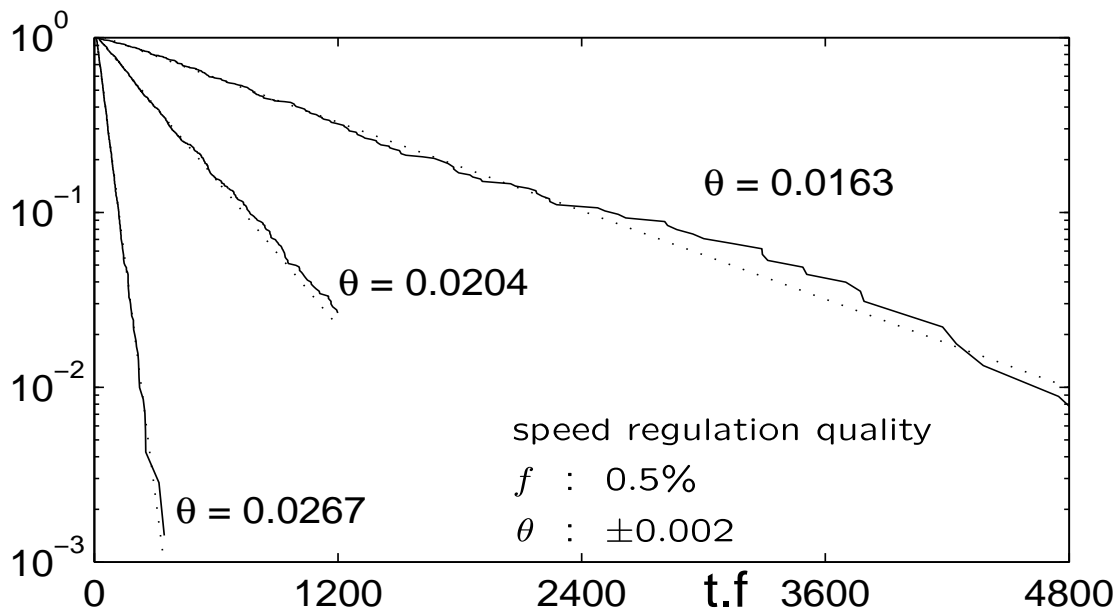
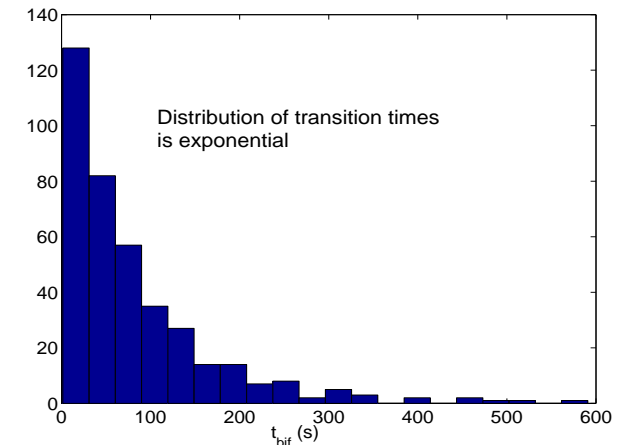


Ravelet *et al.*, *Phys. Rev. Letters*, **93**, 164501 (2004).

Statistique des temps de persistance dans l'état central (s)



θ fixé proche de 0, 250 runs.
enregistrement du temps
d'attente avant bifurcation.
«moyenne d'ensemble»



Cumulative Distribution Function
des temps d'attente :

$$P(t_{bif} > T) = \exp\left(-\frac{T-t_0}{\tau}\right) .$$

Stabilité de la branche centrale (s)

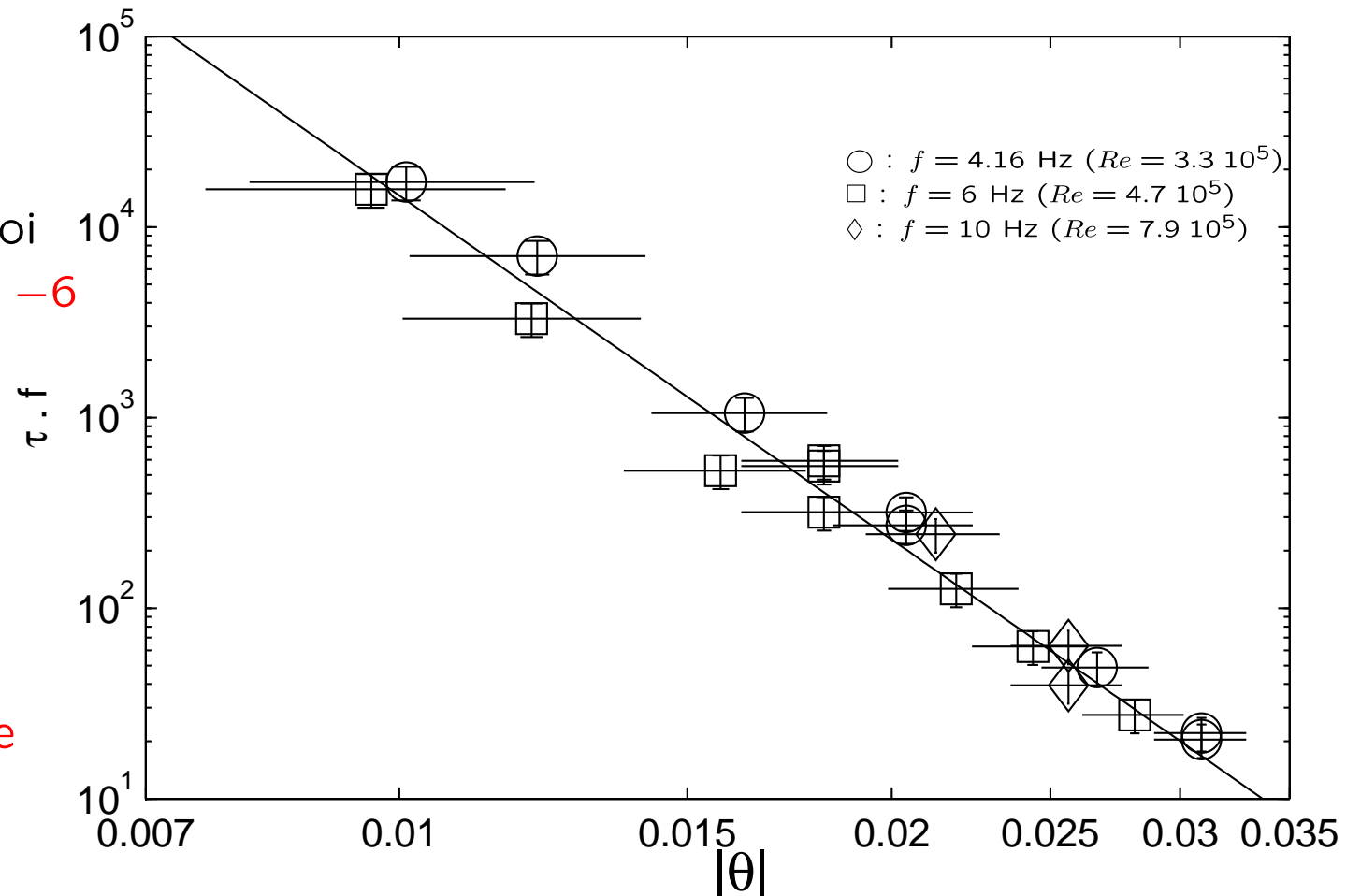
Nous mesurons le temps caractéristique τ pour plusieurs $\theta \simeq 0$

Un ajustement par une loi de puissance d'exposant -6 sur une demi-décade ?

Néanmoins, τ semble diverger :

l'état central est marginalement stable

$\tau \rightarrow \infty$ quand $\theta \rightarrow 0$

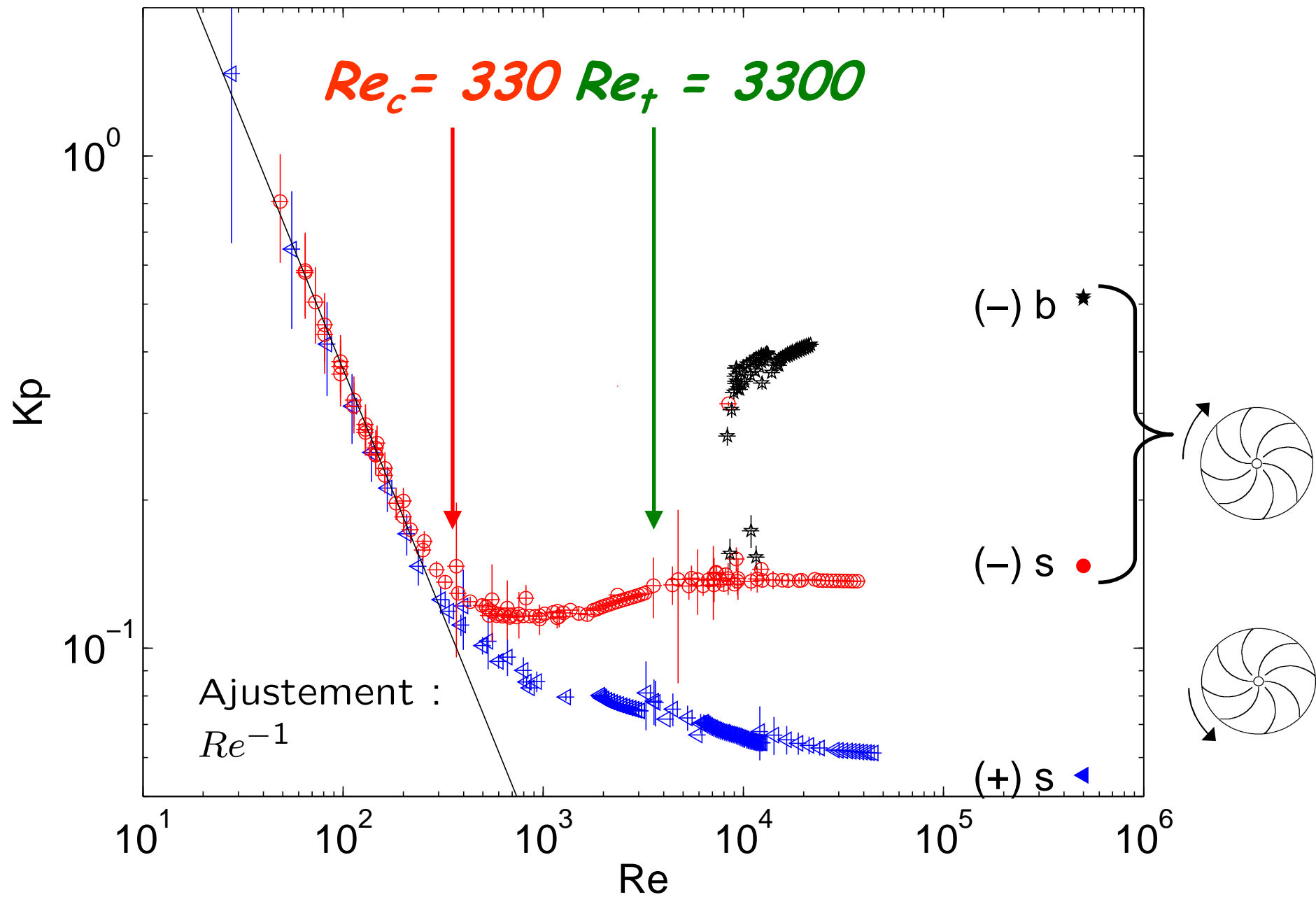


- 2 -

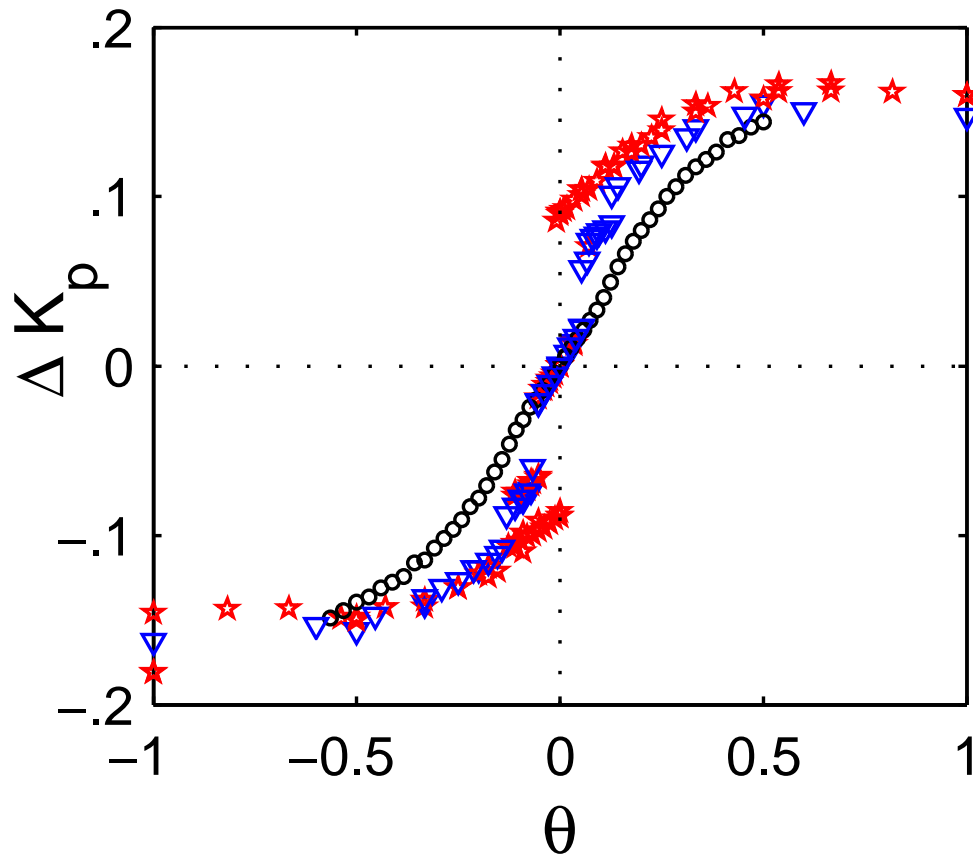
Plus de douceur dans le monde des bifurcations turbulentes

Exemples de cisaillements modérés et/ou
contrôlés mécaniquement : de une à deux
cellules en fonction de l'asymétrie.

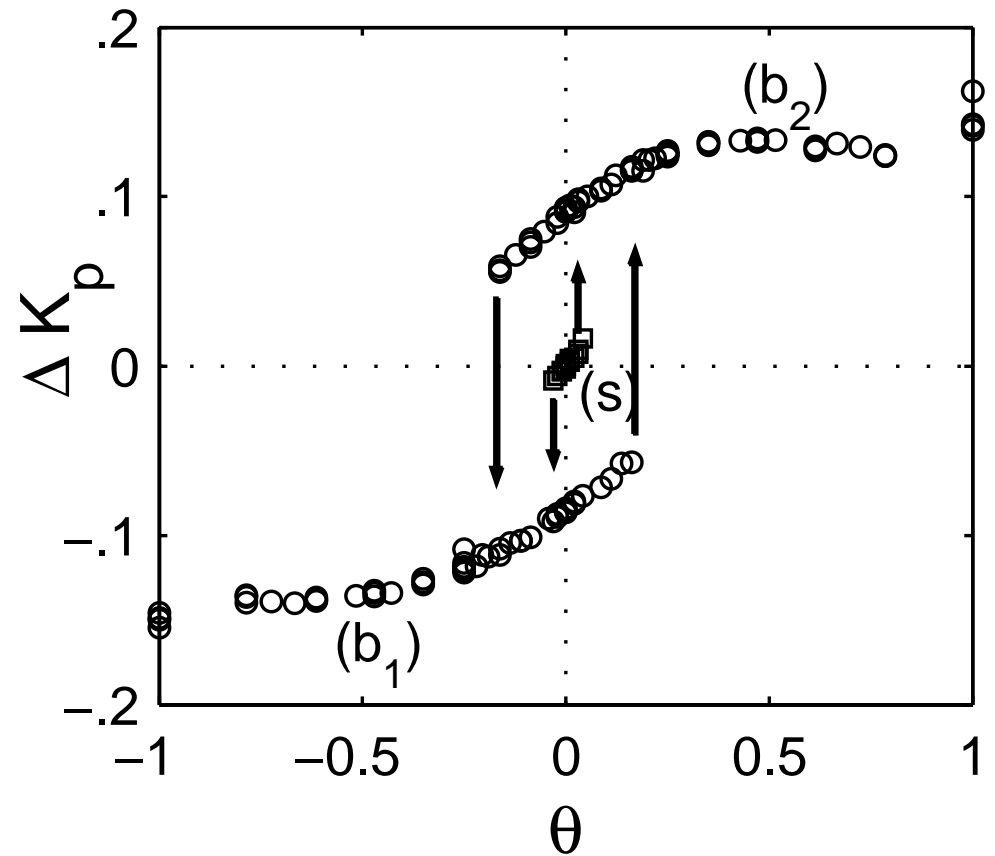
Multiplicité des solutions



La coexistence des trois états n'est observée qu'en régime turbulent



- : $Re = 800$
- ▽ : $Re = 5000$
- ★ : $Re = 10000$



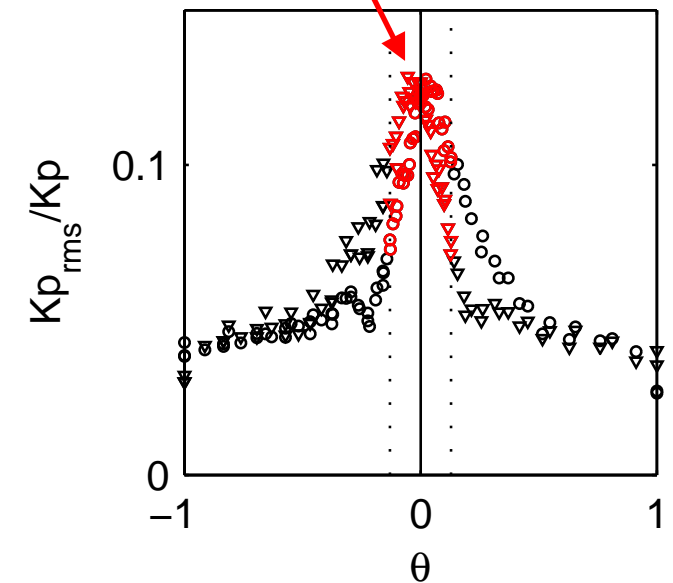
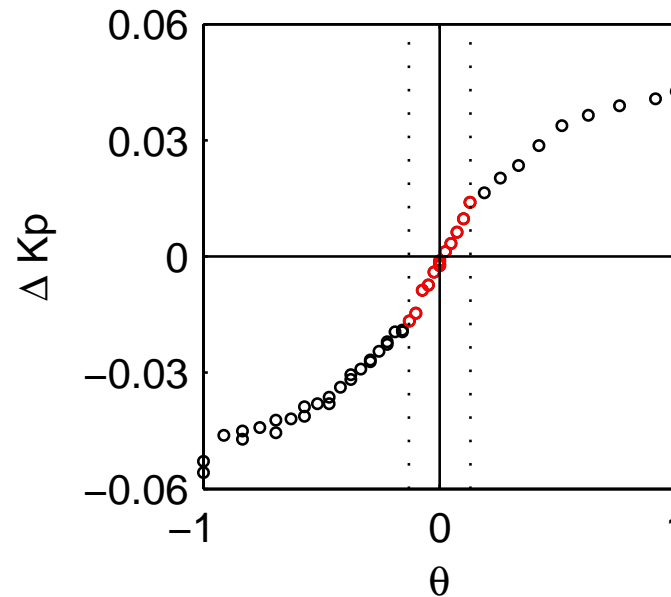
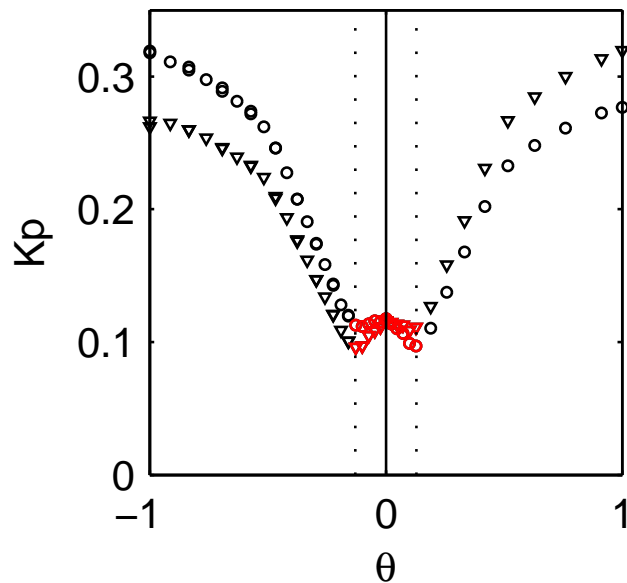
$Re = 3 \times 10^5$

Le phénomène dépend de la forme des turbines

Turbines à pales droite, cf. Cadot & Lemaitre (2007).

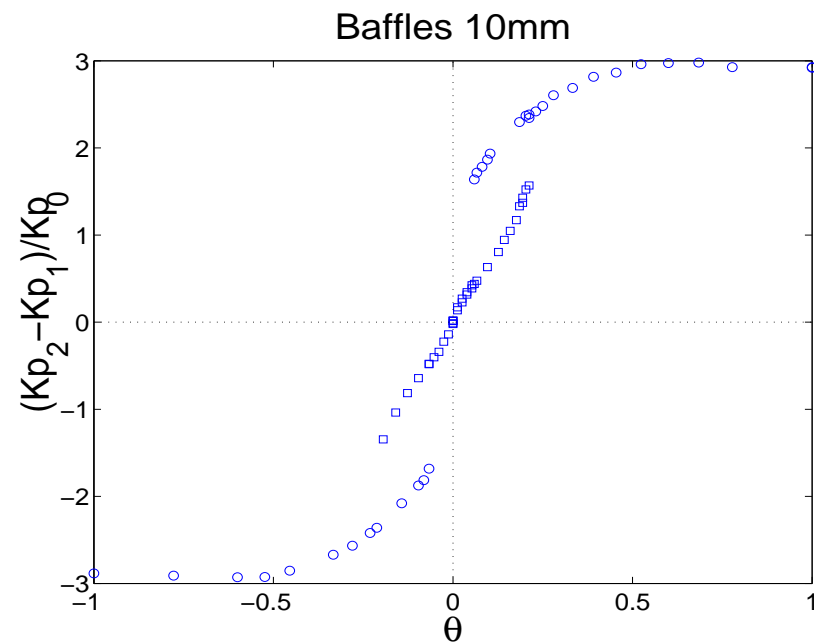
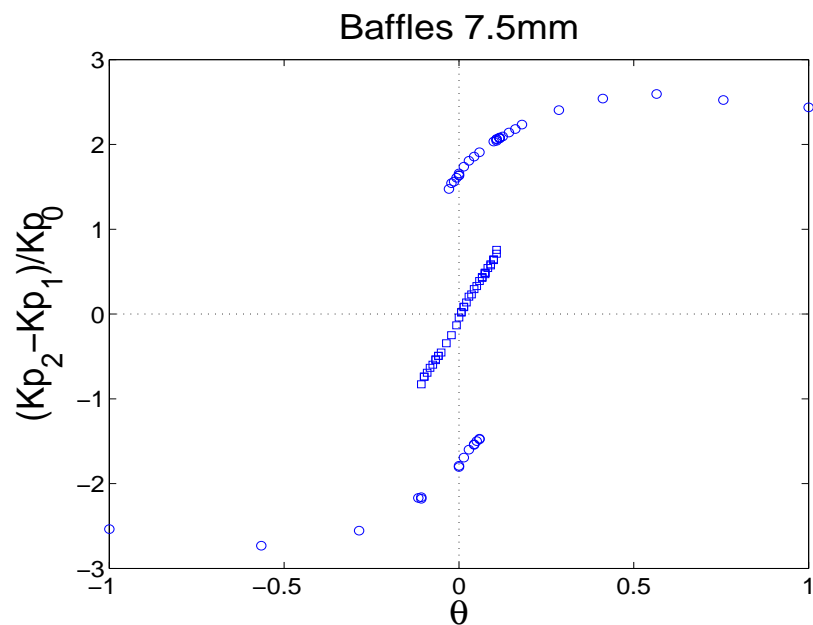
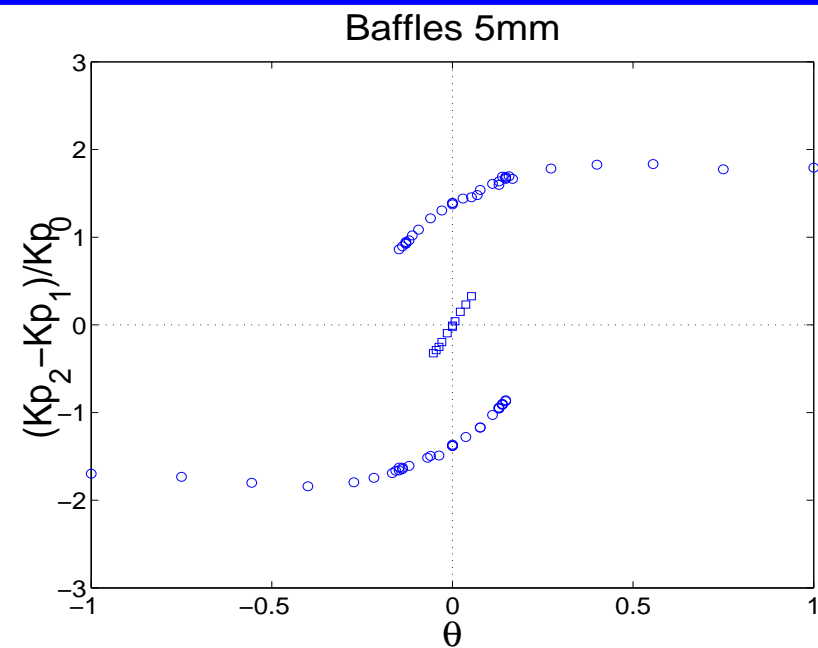
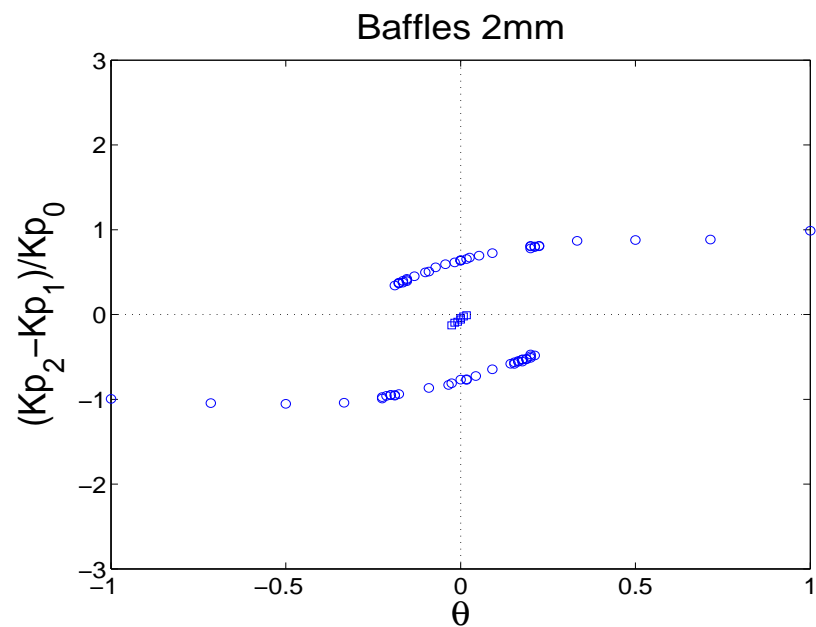
$$Re = 3 \cdot 10^5$$

Signature de la couche de mélange

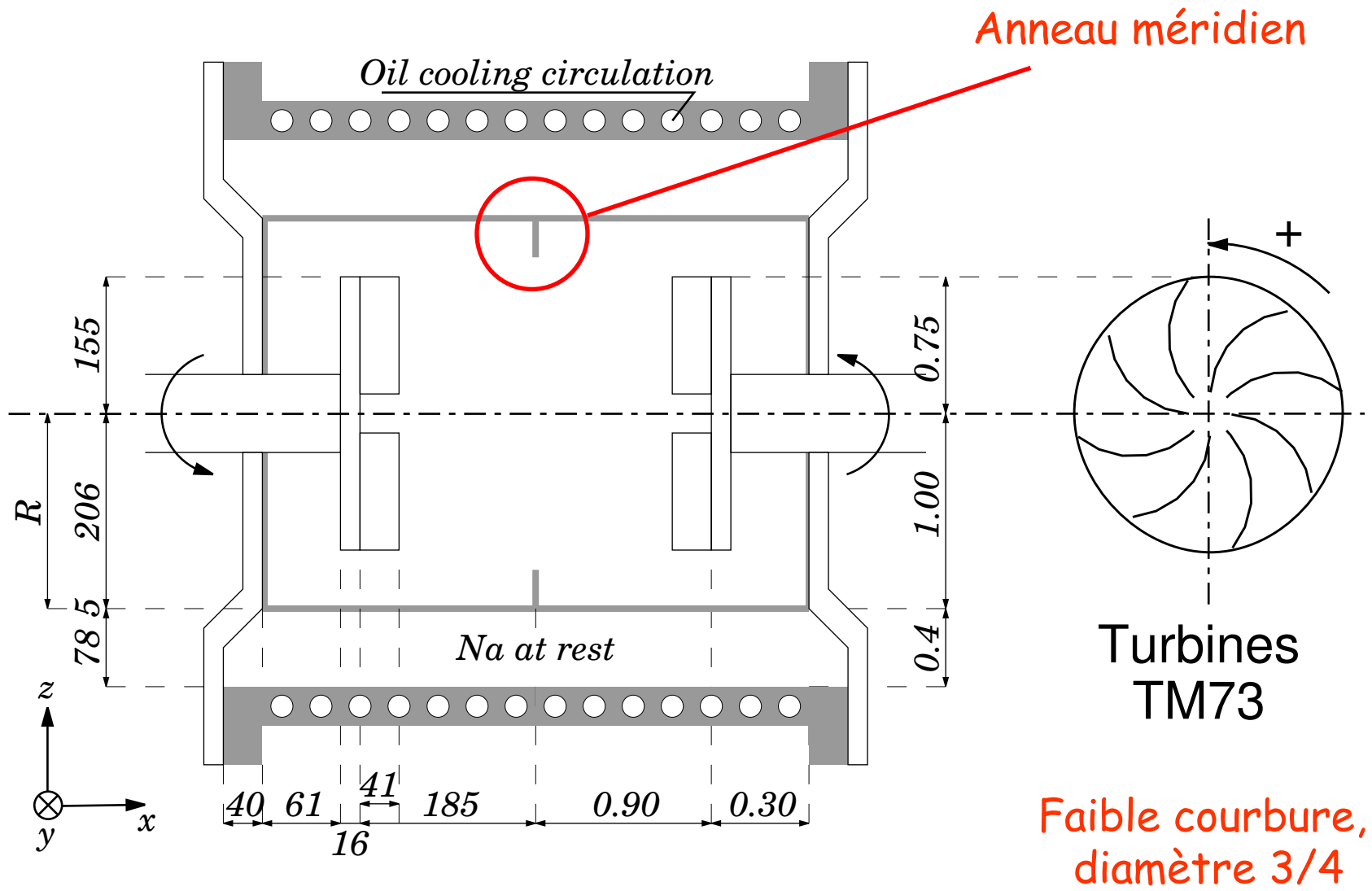


$\theta \simeq \pm 0.2$: transitions continues de l'état à une vers l'état à deux cellules

Ajout d'ailettes fixes : effets sur le(s) cycle(s) d'hystéresis

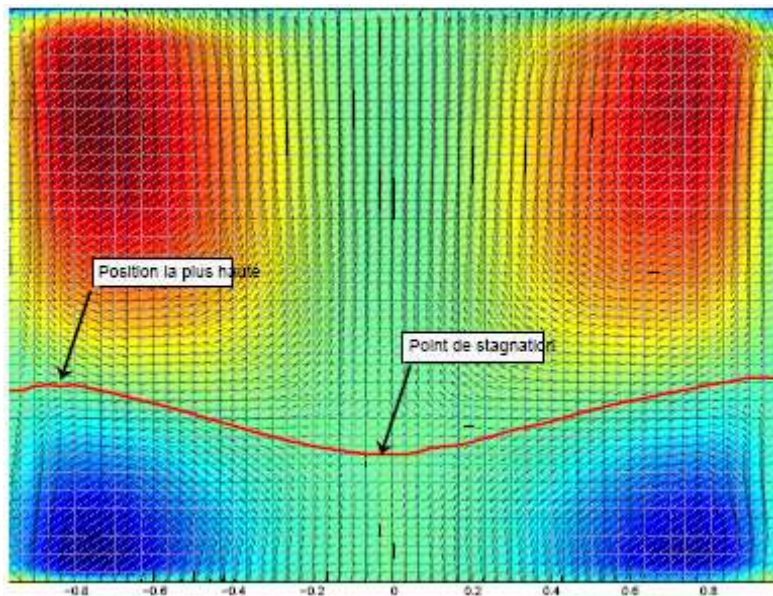


Le cas de l'expérience VKS (von Karman Sodium)



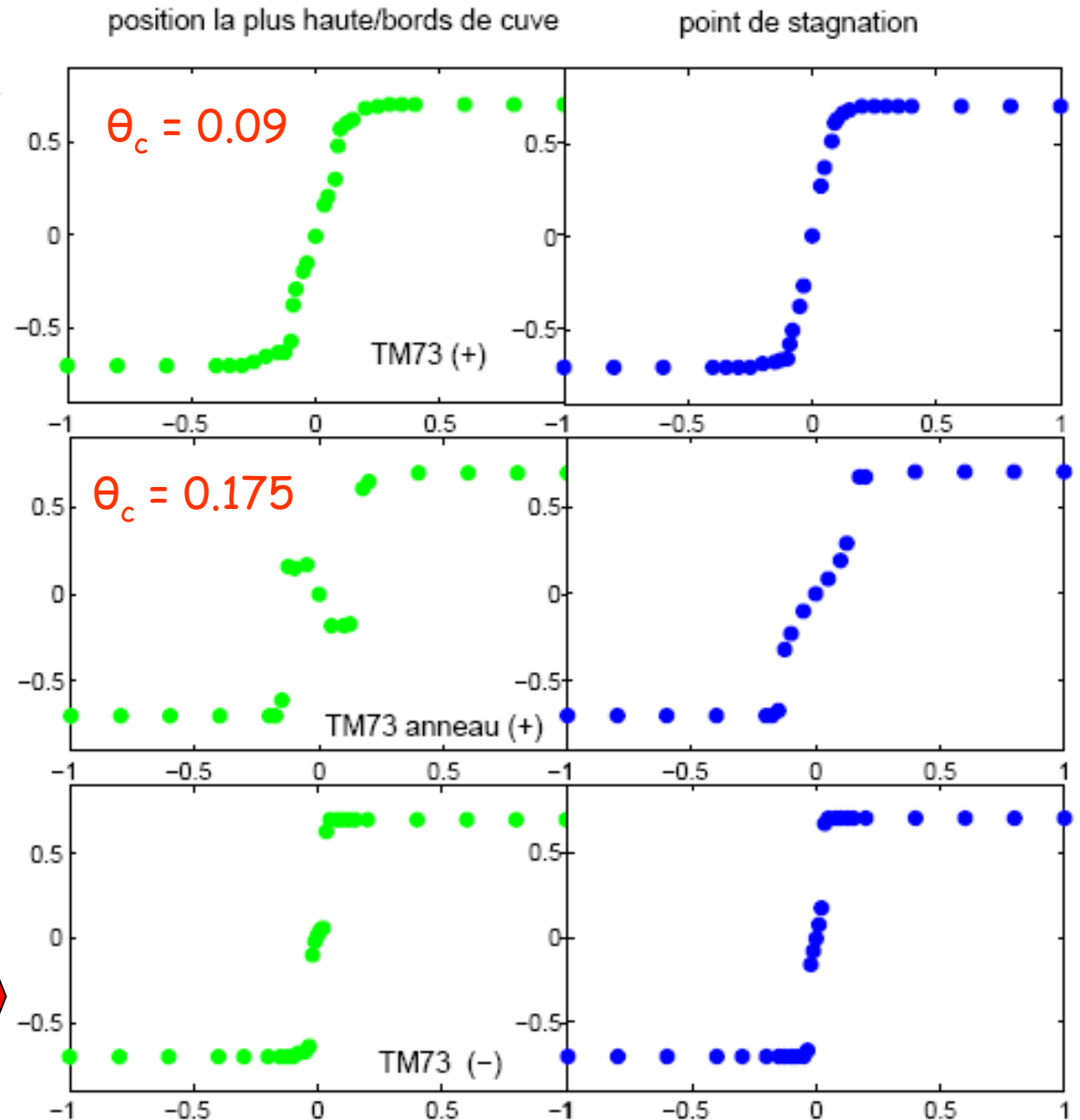
Position de la couche de cisailment en fonction de θ

Forme de la séparatrice par SPIV

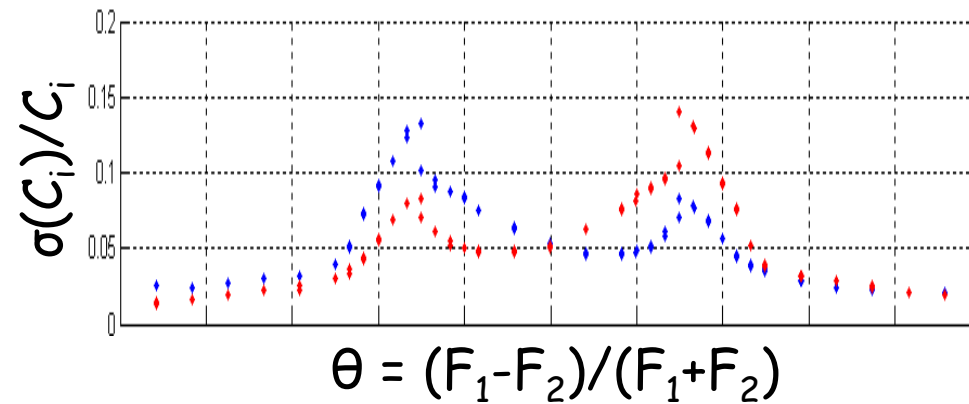
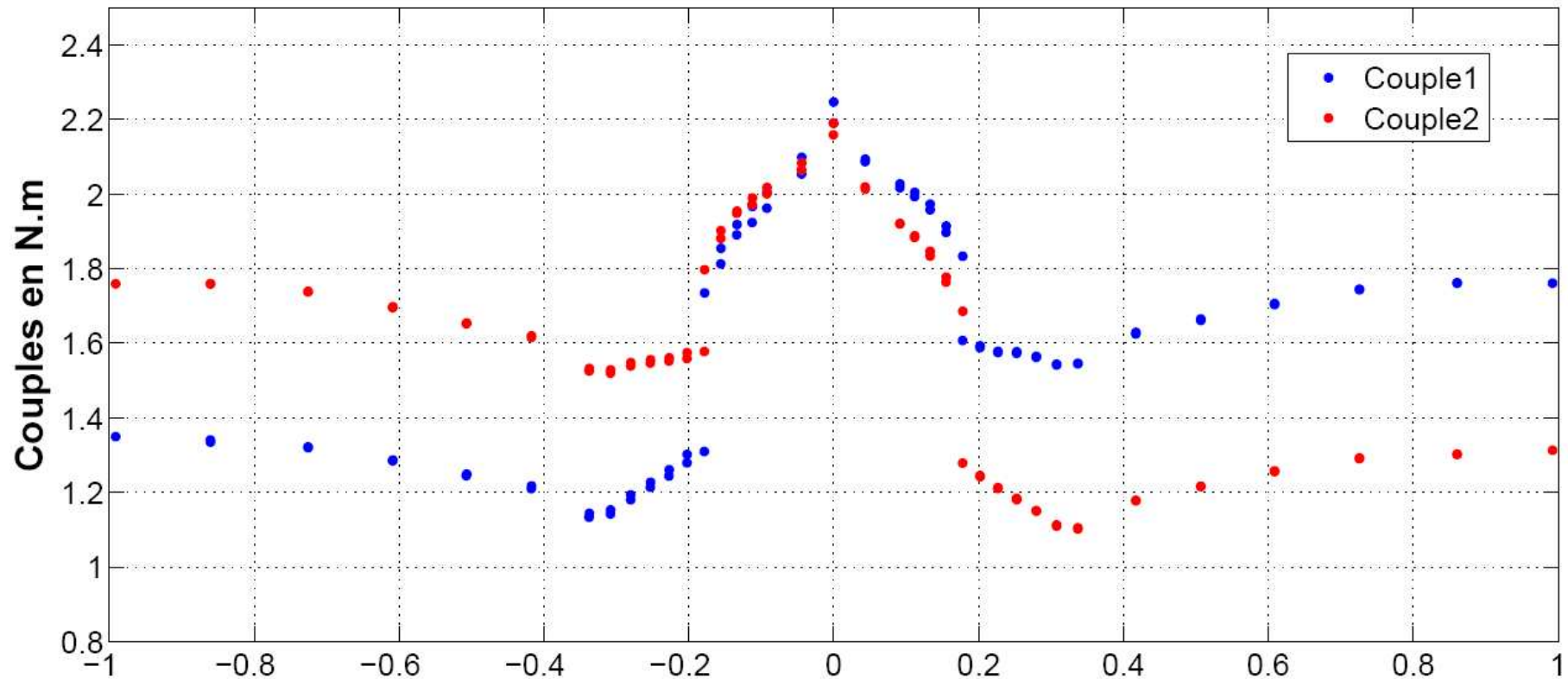


$\theta = 0.05$, sans anneau

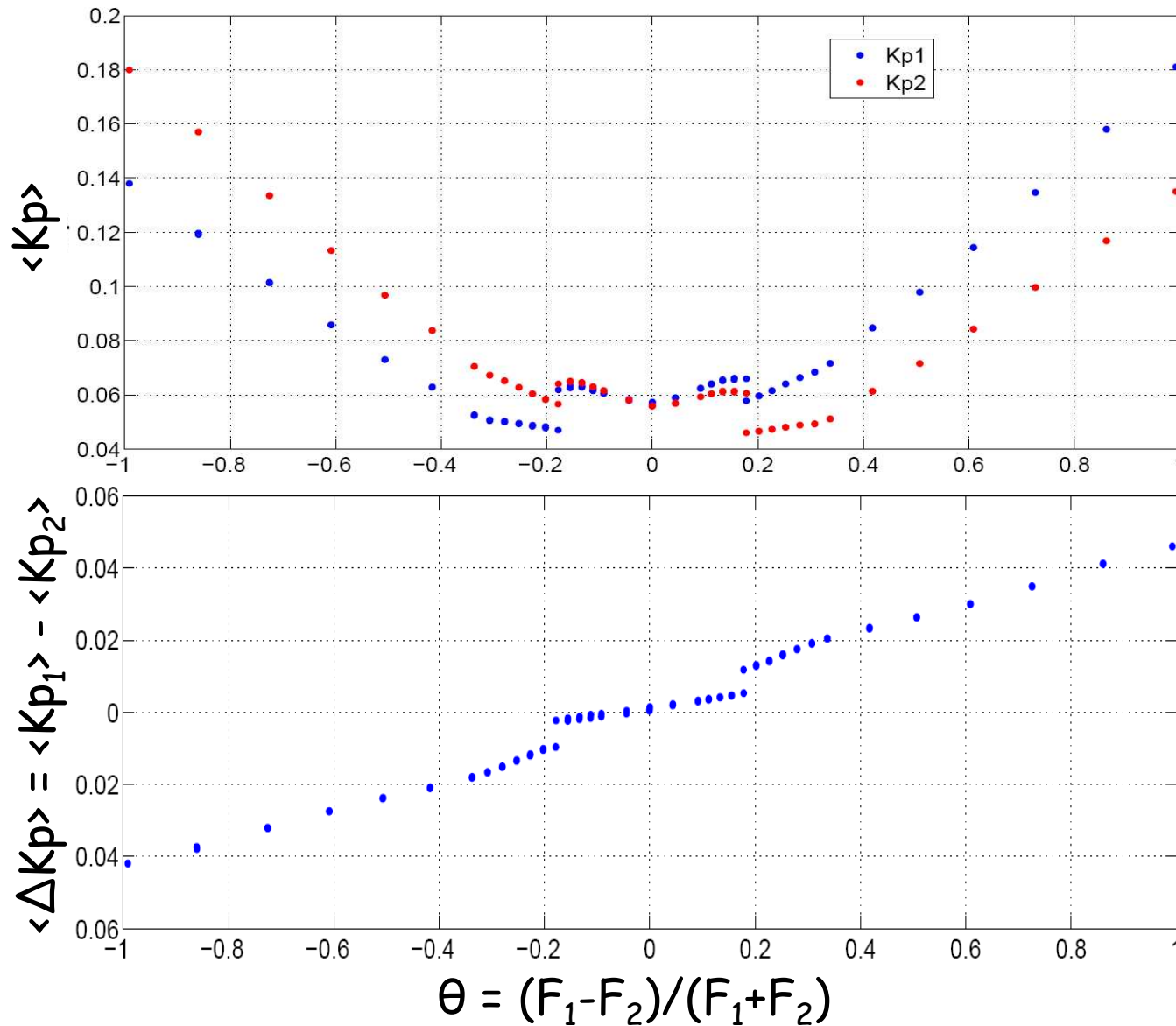
Position de la séparatrice



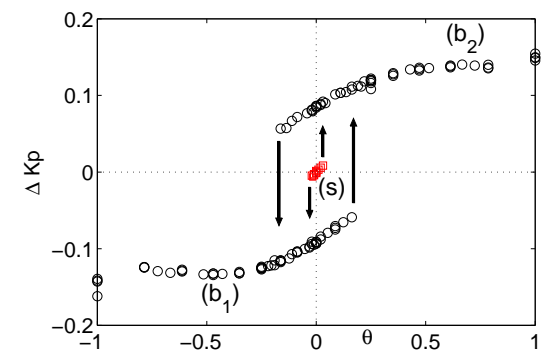
Sens (+) avec anneau - couple et fluctuations



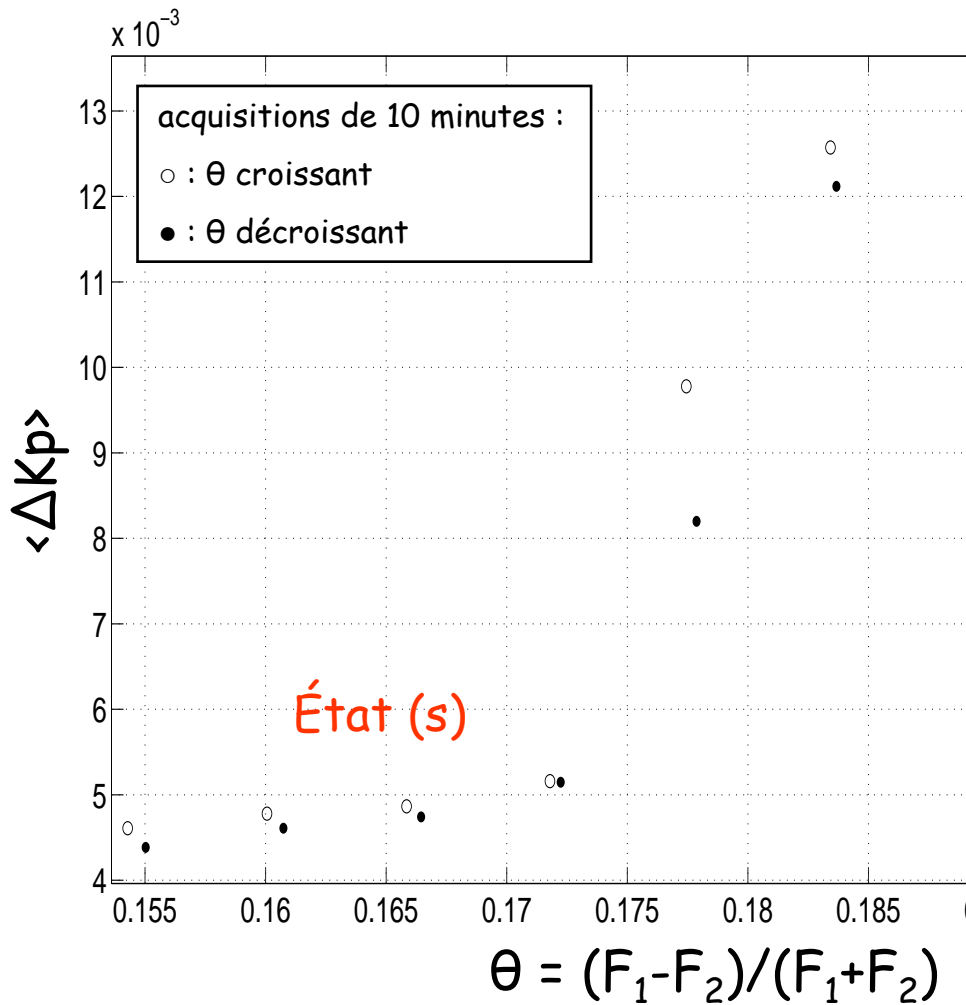
Transition « 1 cellule - 2 cellules » à $\theta_c = \pm 0.175$



- Transition discontinue
- Aucune hystérésis
- Faible différence de Kp
- Faible saut de Kp
- Très différent de TM60

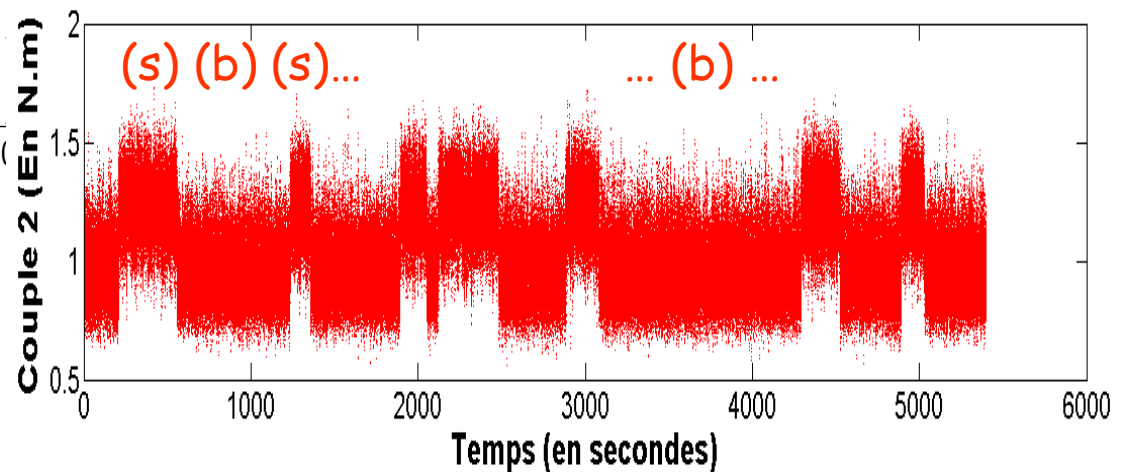
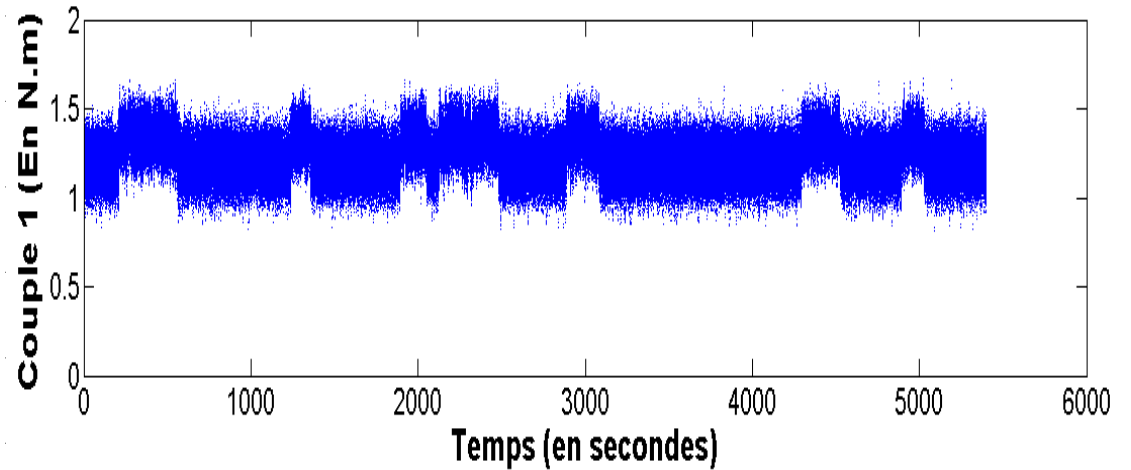


Que se passe-t-il à $\theta_c = \pm 0.175$?



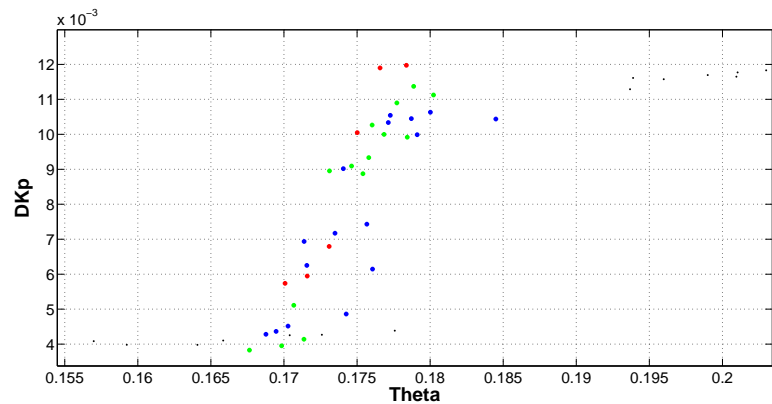
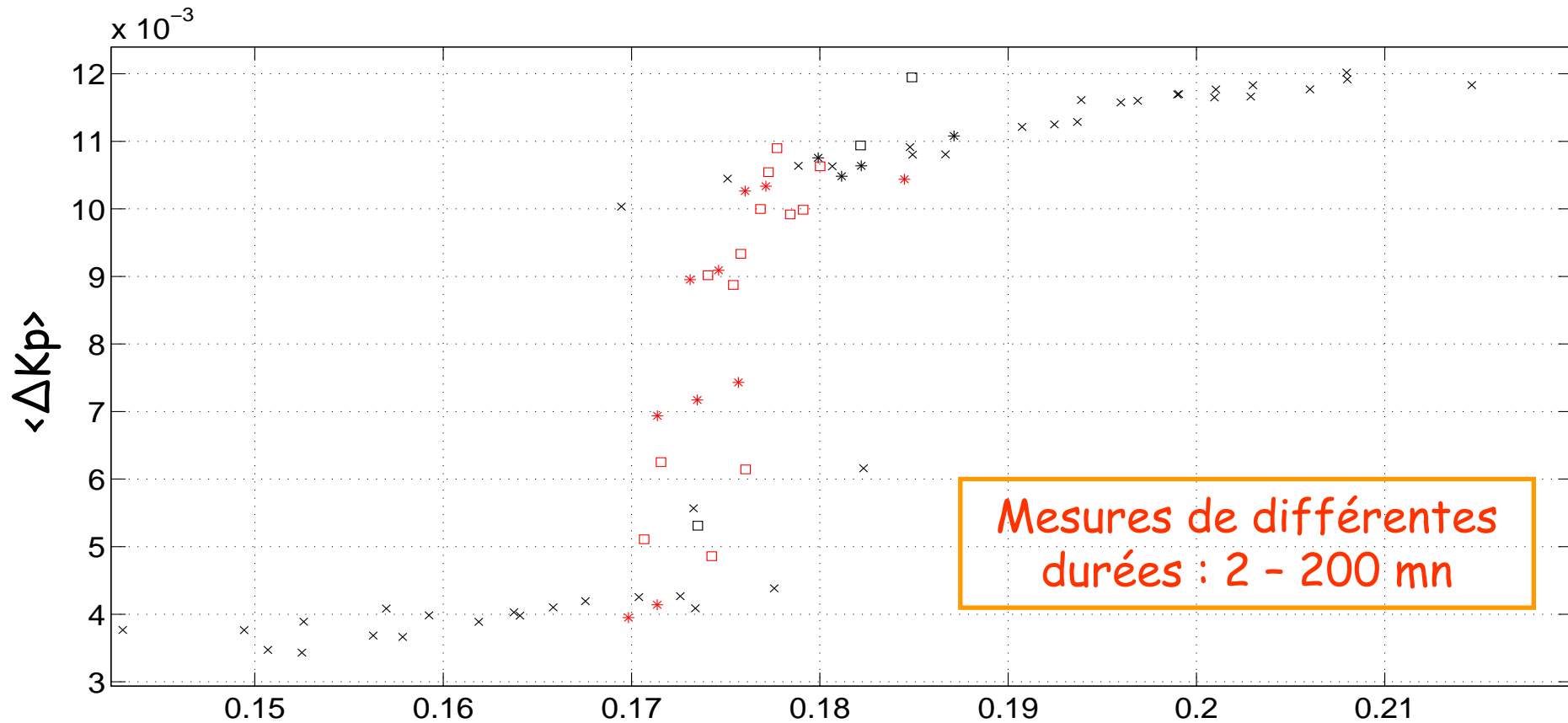
ΔKp moyen est continu

État (b)



Passage stochastique d'une à deux cellules

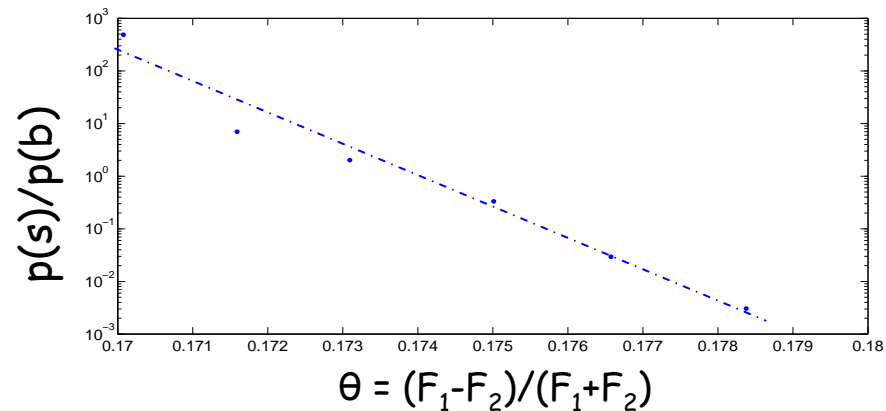
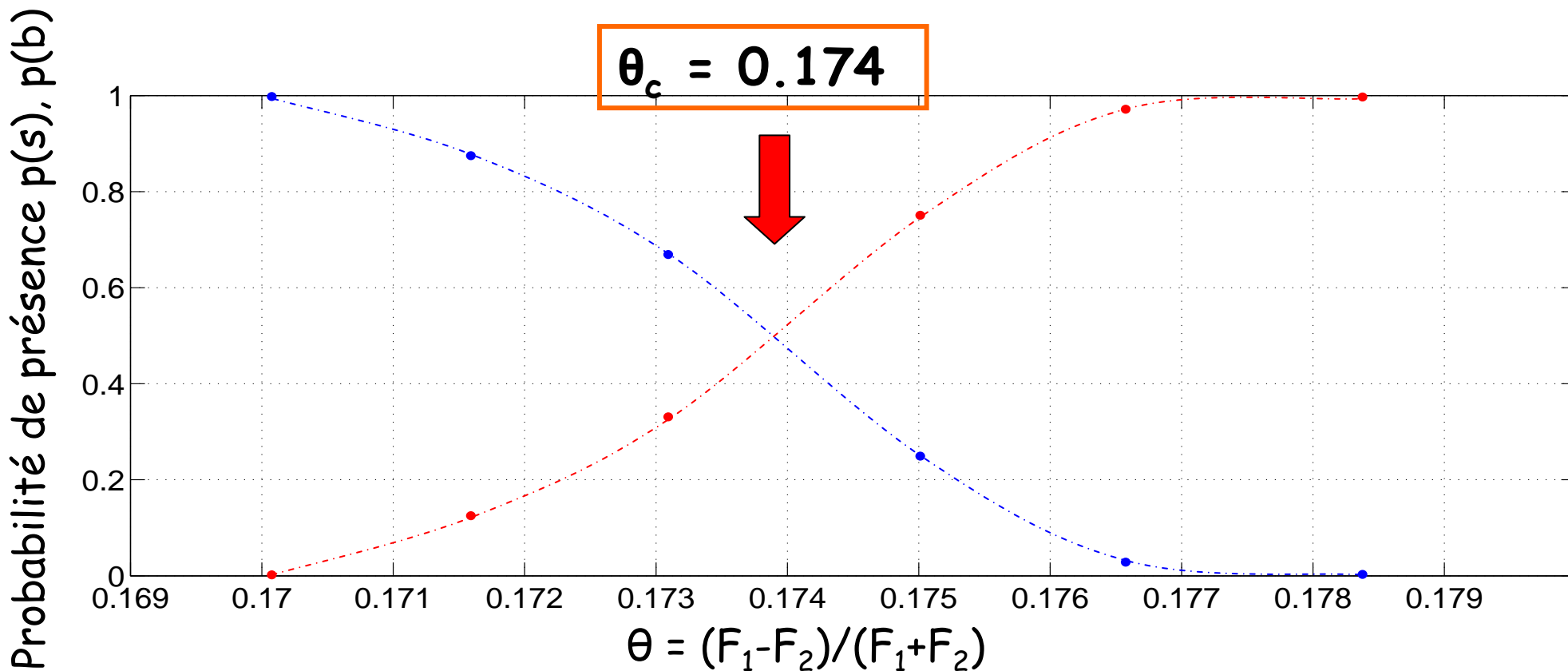
Que se passe-t-il à $\theta_c = \pm 0.175$?



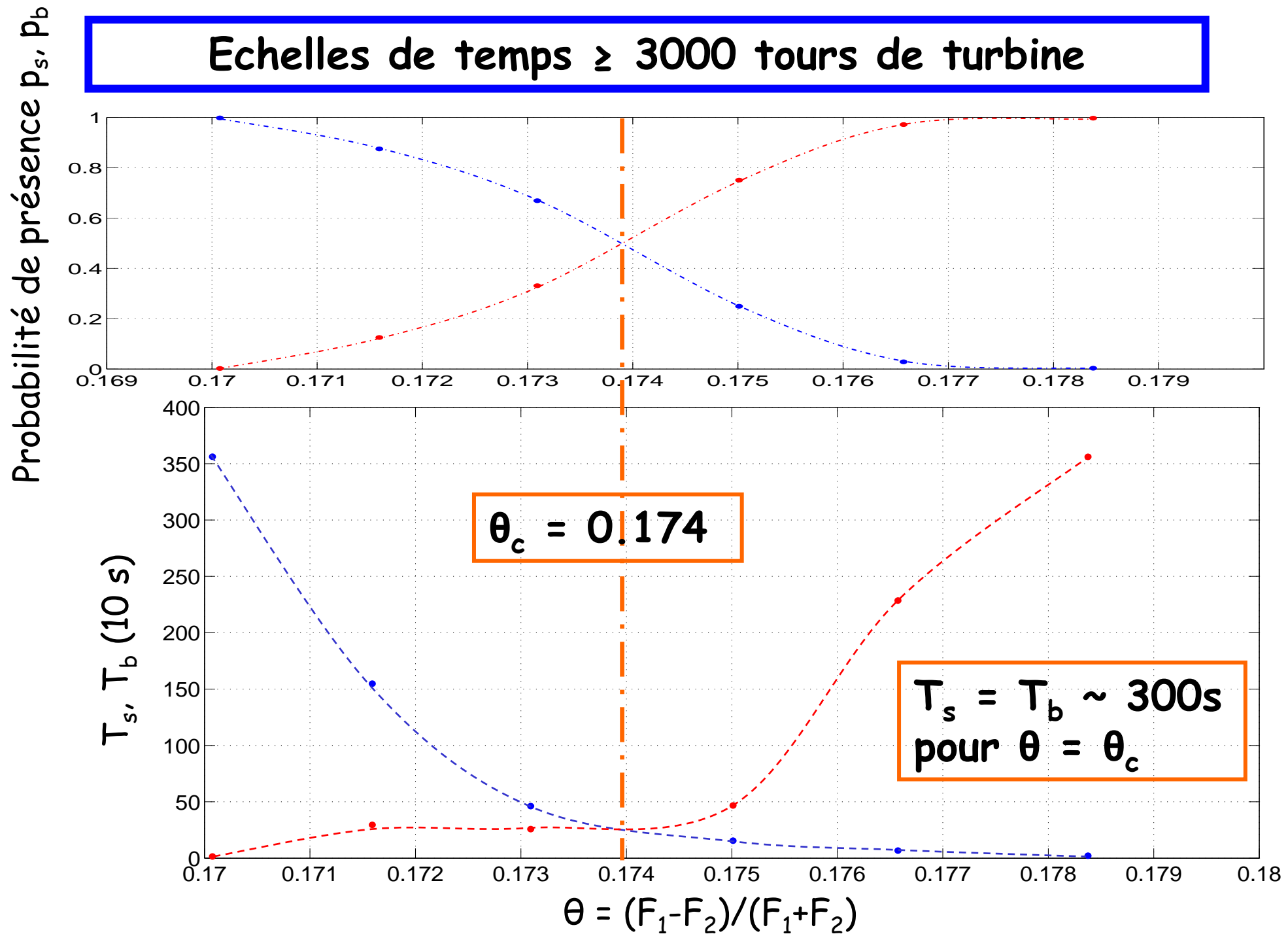
$$\theta = (F_1 - F_2) / (F_1 + F_2)$$

D'un état à l'autre

$$\theta_c = 0.174$$



Echelles de temps ≥ 3000 tours de turbine



Echelles de temps courtes $\sim 1s = 10$ tours de turbine

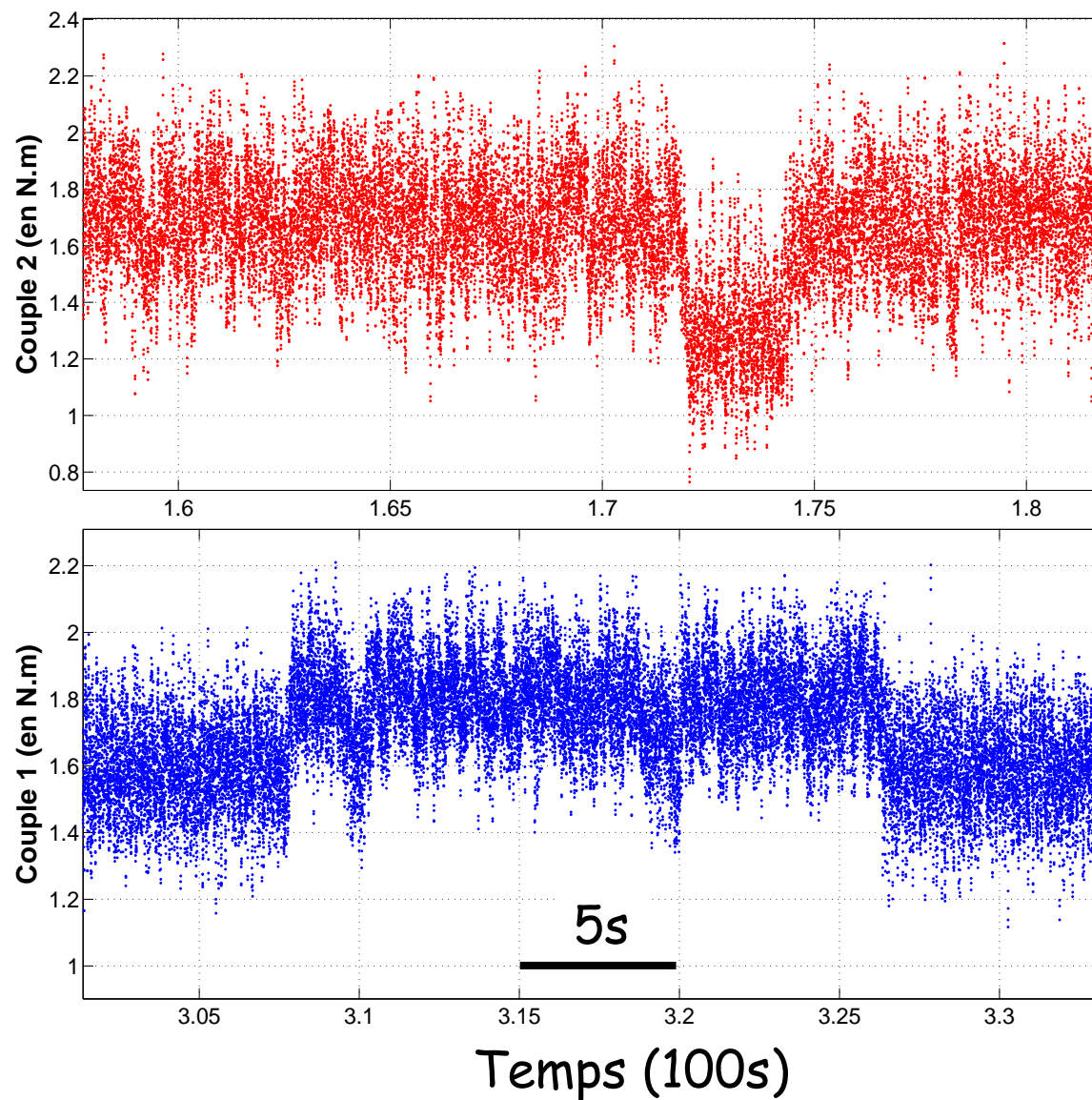
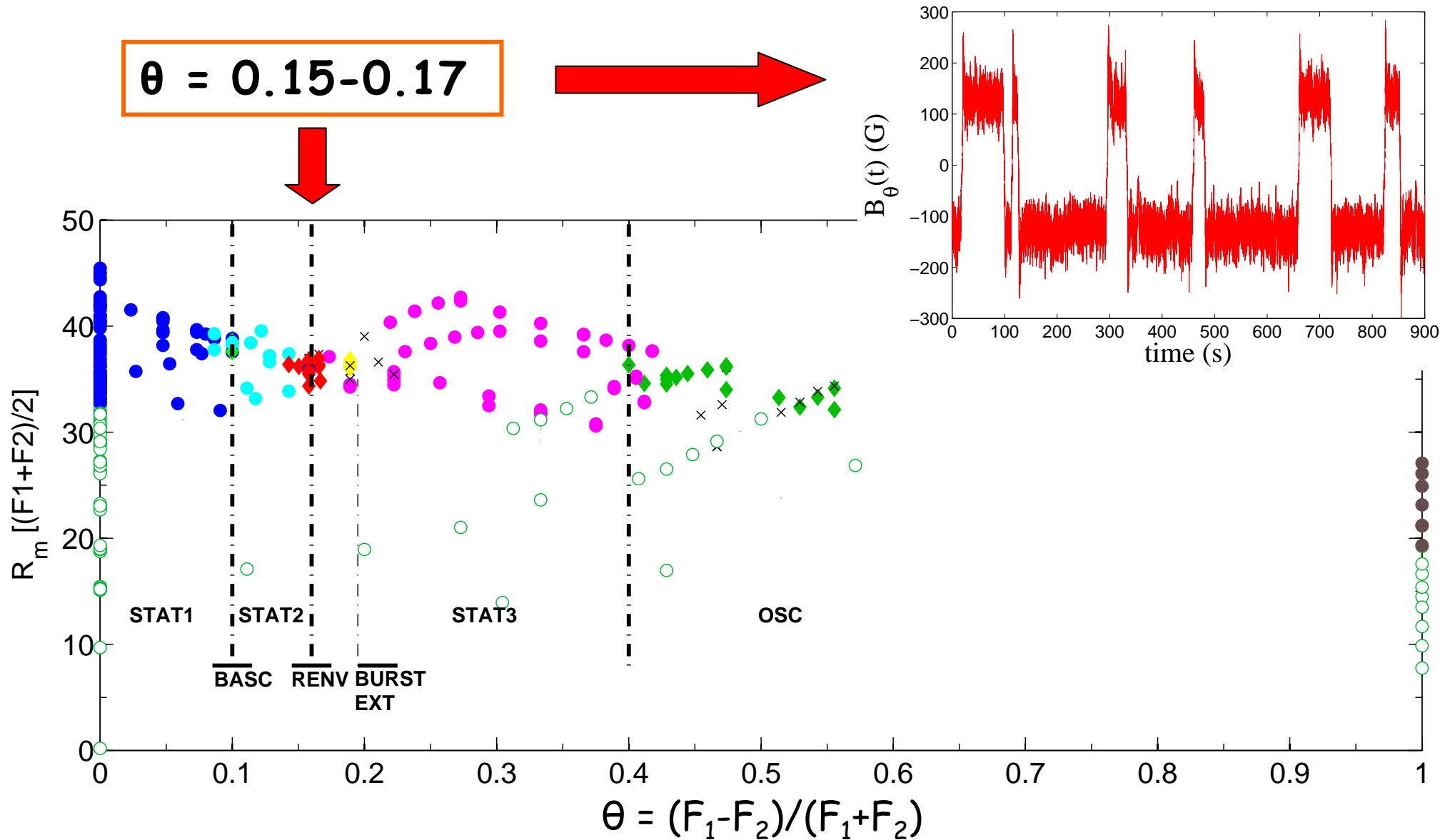


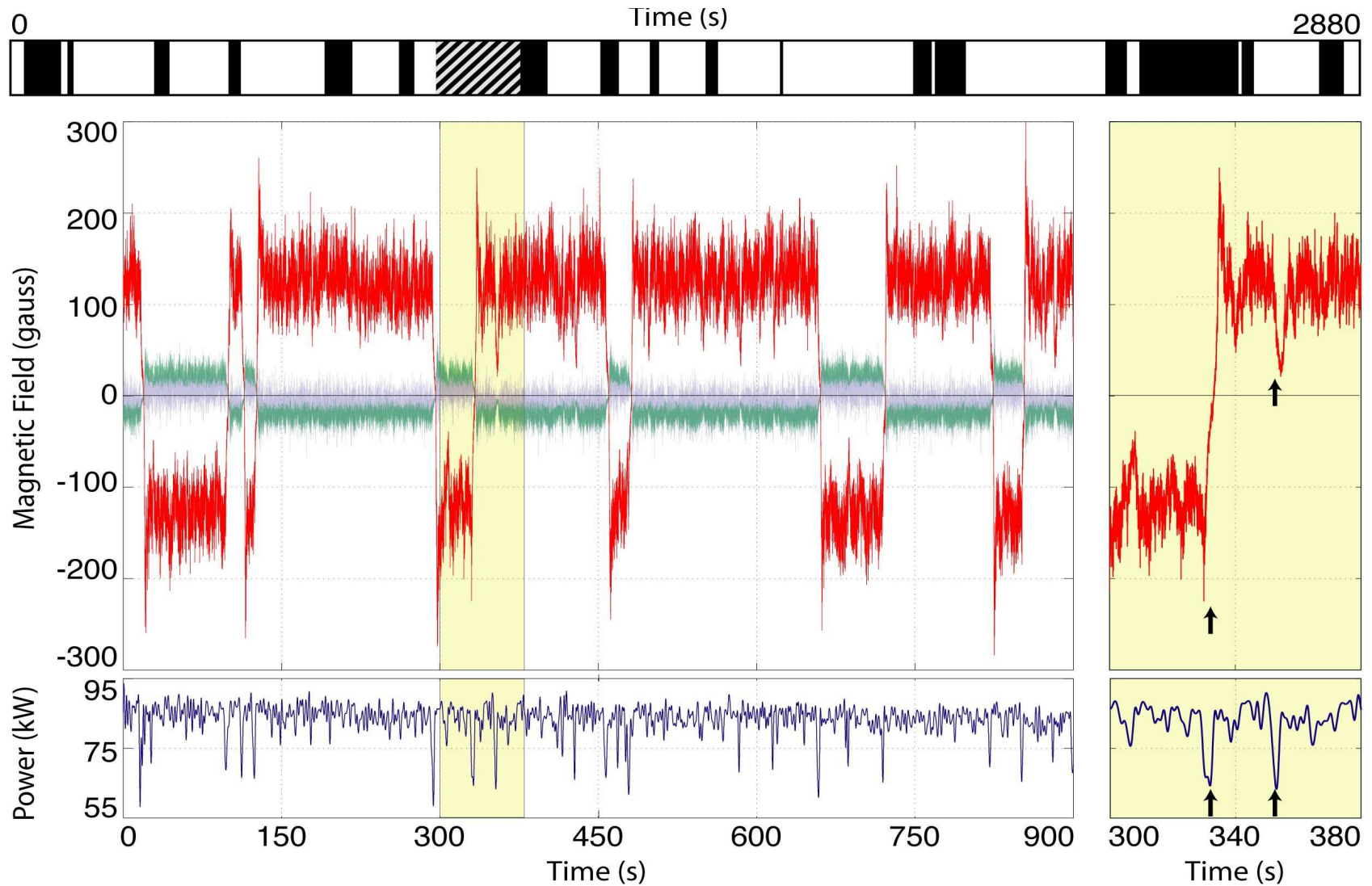
Diagramme des états VKS - avec anneau

$\theta = 0.15-0.17$



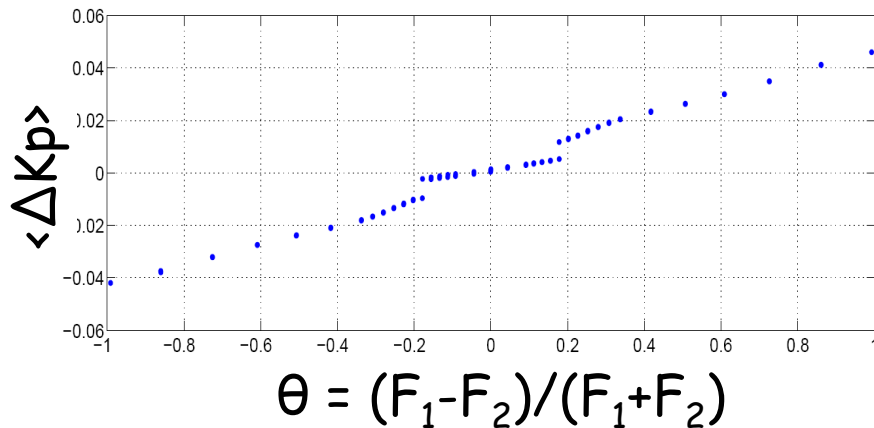
Inversions erratiques de B

Berhanu *et al.* Europhys. Lett. (2007)



Un mécanisme simple de déclenchement des inversions de champ magnétique ?

Hypothèse : θ_c diminue avec l'intensité de B dynamo



- Etat initial : $B \neq 0$ et $\theta = 0.16 < \theta_c(B)$
- Fluctuation : $B \rightarrow B' > B$
- Si $\theta_c(B') < \theta$: passage (s) \rightarrow (b) en $\sim 2s$
- disparition de la dynamo $\sim 2s$
- θ_c remonte à $\theta_c(0) = 0.175$
- La dynamo repousse $\rightarrow B$ ou $-B$

